



УДК 531.7

**3D-СКАНИРОВАНИЕ****3D-SCANNING**

**Ледков Денис Евгеньевич**, бакалавр каф. «Турбины и Двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [ledkov.d@gmail.com](mailto:ledkov.d@gmail.com), Тел.: +7(922)023-00-03

**Седунин Вячеслав Алексеевич**, канд. техн. наук, доцент каф. «Турбины и Двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [lerr@bk.ru](mailto:lerr@bk.ru). Тел.: +7(902)254-28-97

**Ledkov Denis Evgenyevich**, Master student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [ledkov.d@gmail.com](mailto:ledkov.d@gmail.com), Ph.: +7(922)023-00-03

**Sedunin Vyacheslav Alekseevich**, Doctor Sc., Prof., Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [lerr@bk.ru](mailto:lerr@bk.ru). Ph.: +7(902)254-28-97

**Аннотация:** В данной работе было произведено сканирование осевого компрессора ГТН-6. Целью данной работы являлось получение практических навыков сканирования и определения параметров по которым возможно производить входной контроль лопаточного аппарата. Было определено, что проведение входного контроля лопаточного аппарата возможно производить по следующим показателям: угол установки лопатки по корневой полке и по отдельным сечениям, отклонение поверхности пера лопатки от эталонной модели, максимальной толщине профиля. В целом использование оборудования в данной комплектации наиболее оптимально подходит для выборочного входного контроля лопаточного аппарата. Для определения базовых параметров, таких как максимальная толщина профиля, угол установки профиля. А также для реверсного инжиниринга изделий сложной формы, при отсутствии чертежей от завода-изготовителя, вследствие закрытия завода.

**Abstract:** In this paper was produced axial compressor scanning GTN-6. The objective of this work was to obtain practical skills and to determine the parameter which may produce an input control of turbine's blade. It was determined that the holding of the input control of turbine's blade possible to produce the following indicators: the setting angle of the blade root on the shelf, the surface of the blade deviation from the standard model, the maximum thickness of the profile. In general, the use of this equipment optimally suited for the selective input control of turbine's blade. For determine the basic parameters such as the maximum thickness of the profile, the angle of the profile installation. And also for reverse engineering of complex shapes, in the absence of drawings from the factory, due to the closure of the plant.

**Ключевые слова:** 3D-сканирование; входной контроль лопаток; реверс-инжиниринг;

**Key words:** 3D-scanning; input control of turbine's blade; reverse-engineering;

**3D-СКАНИРОВАНИЕ**

3D сканер-это высокоточный измерительный прибор способный на основе анализа объекта создать его цифровую трехмерную модель. Такие системы получили широкое применение прежде всего в инженерии. Вопросы проектирования, контроля качества производства и инспектирования объектов – это их основные области применения. Полученную с помощью сканера 3D-модель можно использовать для анализа и расчетов в CAD/CAE-системах. Существует множество моделей 3D сканеров, использующих разные принципы работы, каждый из которых обладает своими возможностями и свойствами, что позволяет оцифровывать объекты от колеса автомобиля до лица человека.

Creaform Handyscan Ehascan 3D-это лазерный сканер с разрешением сканирования 200 микрон и точностью 40 микрон. Задачей моей работы было проверить осуществимость применения данного прибора для задач реверс-инжиниринга. В настоящее время существуют проблемы для разного рода технологического оборудования завода-изготовителя, которого больше не существует, а вопросы по его обслуживанию остались. В связи с этим возникает необходимость получения чертежей для уже имеющейся детали.

В эксплуатации турбомашин также возникает вопрос об инспектировании лопаточного аппарата, с целью выявления нарушений формы лопаток.

## РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГ

### 1) Сканирование.

Прежде чем приступить к процессу сканирования необходимо провести предварительную настройку силы света и частоты лазера. Это дает возможность настроить сканер под определенную освещенность в помещении, а также к отполированным поверхностям. Также необходимо выбрать точность сканирования. При увеличении точности сканирования расстояние между 2 соседними точками уменьшается соответственно уменьшается размер создаваемого полигона, при этом растет размер файла и время его обработки. Поэтому, исходя из размеров объекта, качества его обработки, необходимо выбрать оптимальное значение. Для конкретного оборудования не следует выходить за 500000 точек. В среднем процесс сканирования таких деталей как рабочее колесо компрессора, или же лопатка занимает около 2-3 часов.

### 2) Оптимизация сетки.

В программном обеспечении имеется набор основных фильтров позволяющих оптимизировать полигональную модель.

Оптимизация сетки сканирования заключается в увеличении количества полигонов посредством уменьшения уже имеющихся больших полигонов для более точной отрисовки поверхности.

Уничтожение сетки сканирования – задача, противоположная предыдущей. Здесь происходит увеличение имеющихся полигонов для уменьшения их количества, без искажения изображения реальной детали. Применяется на ровных поверхностях, где количество полигонов ничуть не сказывается на качестве результата сканирования, а лишь нагружает модель для дальнейшей обработки.

Граница оптимизации – условное значение «глубины» оптимизации фильтров. При повышении параметра происходит более серьезное отстраивание полигонов.

Граница резкости отвечает за качество получаемых кривых моделей. Получить идеально закругленную полигональную модель не получится, ведь соединение любых двух точек происходит исключительно по прямой. Данный фильтр лишь уменьшает расстояние между двумя прямыми, достраивая дополнительные полигоны, для более точного отображения поверхности.

Автозаполнение отверстий – программа математически додумывает отверстие и достраивает его сама.

Изолирование, так называемых, «шумов» - это удаление лишних полученных полигонов, которые не относятся к основной модели.

### 3) Создание трехмерной модели.

Для последующего анализа объекта необходимо создать его в формате IGES. В целом этот процесс не отличается от обычного построения. Отличие заключается в построении эскиза, так как он строится на основе полученной триангуляционной модели. Т.е. с помощью плоскости рассекается сетка и на рассекающей плоскости образуются следы сетки по которым строится эскиз. Также для особых случаев можно строить поверхность по сетке. Но это требует хорошего качества сетки, в противном случае поверхность не будет построена. Время построения зависит от сложности детали и качества полученной полигональной модели.

### 4) Анализ построения.

Позволяет оценить отклонения построенной детали от сетки.

## ИНСПЕКТИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ

Инспектирование проводилось на облопаченном роторе компрессора ГТН-6. Целью данной работы являлось оценка возможностей сканера для определения углов установки лопаток, максимальной толщины профиля, лопаточных углов профиля.

### 1) Оценка отклонений формы лопаток от эталонной модели

Для проверки отклонений производится совмещение полученной полигональной модели и эталонной 3д модели, предоставленной заводом изготовителем. Совмещение производится при помощи функции «Совмещение наилучшим образом», то есть по минимальному отклонению триангуляционной модели от эталонной модели.

На рис.1. показано наложение сетки на эталонную модель лопатки, выданной заводом изготовителем. Справа представлена шкала отклонений, зеленой зоной указаны отклонения от -0,1мм до 0,1мм. На рисунке 1 а) видно, что отклонения в целом меньше 0,1 мм, локально в одной зоне 0,4 мм, а на рисунке б) отклонения на входной кромке не выходят за 0,1 мм, на корытце - 0,16-0,4. Максимальное отклонение по корытцу составляет 0,44 мм, что выходит за пределы допустимого диапазона. Но поскольку сканирование производилось на лопатке, бывшей в эксплуатации, то отклонение можно считать допустимым.

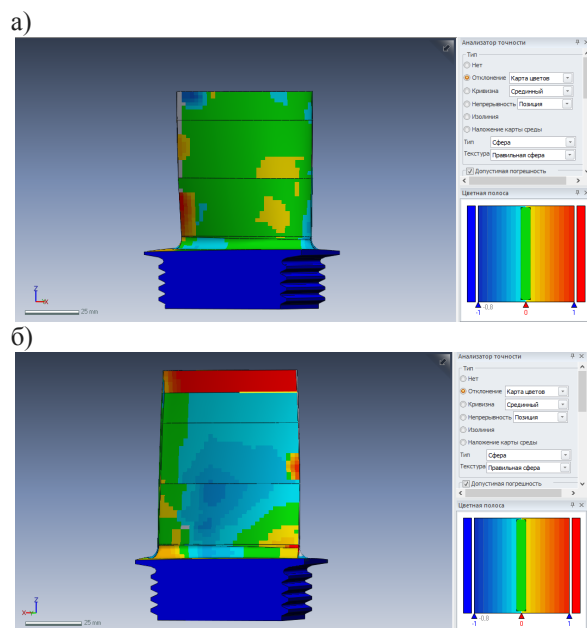


Рис. 1. Отклонения сетки от оригинала: а)- Рабочая лопатка 3 ступени, б)- Рабочая лопатка 1 ступени.

## 2) Измерение $\sigma_{max}$ .

Для того чтобы измерить  $\sigma_{max}$  произведено построение профиля лопатки по триангуляционной модели. Это выполняется с помощью функции «Эскиз по сетке». Далее необходимо вписать окружности в профиль и путем выбора наибольшего размера определяется максимальная толщина профиля. На рисунке 2-Окружности вписанные в профиль. представлен конечный результат построения профиля лопатки. На следующем Рисунке 3-Измерение окружностей продемонстрировано измерение радиусов вписанных окружностей. Из чего следует, что  $\sigma_{max}=7,62$  мм. Полученные данные сравниваются с эталонными значениями максимальной толщины профиля. Среднее арифметическое значение отклонений составляет 1,75%, при этом максимальное значение равняется 12,20%, минимальное значение-0,14%. В целом измерение  $\sigma_{max}$  реализуется с высокой точностью, так как удастся получить хорошее качество модели на спинке и корытце.

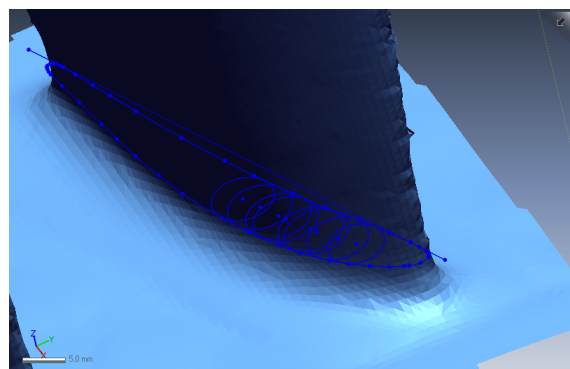


Рис. 2. Окружности вписанные в профиль.

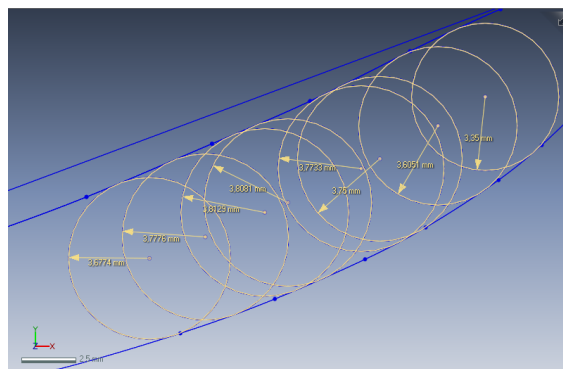


Рис. 3. Измерение окружностей.

## 3) Измерение угла установки лопатки.

Измерение производилось по боковой грани корневой полки. Очевидным плюсом такого способа является тот факт, что измерение производится на облопаченном роторе. То есть также оценивается качество установки лопаток. Разрешение прибора позволяет получить линии стыка корневых полок между собой. По линиям этих стыков определялся установочный угол лопатки. На рисунке 4-Определение  $\alpha$  установки показано, что существует неоднозначность в том, как проходит боковая линия корневой полки. Этот диапазон составляет 1 градус. Считая это допустимым отклонением, было произведено измерение по 2 лопатки из каждого венца. Полученные средние арифметические значения были сравнены с данными завода-изготовителя и сведены в таблицу...-Сравнение углов установки. Максимальное отклонение 1,6 градуса, в среднем отклонения не превышают 1 градус. С учетом диапазона проведения линии можно считать измерение в пределах допуска.

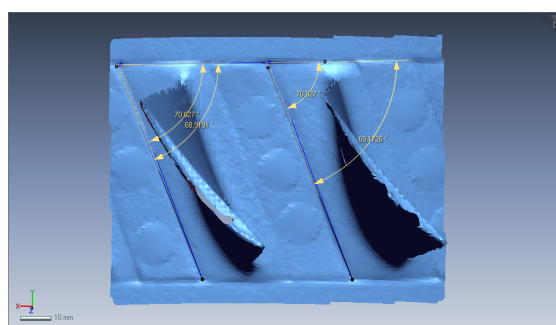


Рис. 4. Определение  $\alpha$  установки.

## 4) Измерение профильного угла установки.

Для проведения измерения профильного угла установки построен профиль лопатки в цилиндрическом сечении. Алгоритм построения представлен в разделе 2. Результат построения представлен на рисунке 5-Цилиндрическое сечение лопатки. На данном рисунке видно, что на кромках нет линий профиля из-за сложности сканирования кромок. Данная модель 3D-сканера не сканирует кромки толщиной менее 2 мм. Необходимо оценить какое влияние качество поверхности на кромках оказывает на измерение

угла установки профиля. Для этого было определено, на каком расстоянии от кромки начинается триангуляционная модель с хорошим качеством поверхности. Это продемонстрировано на рисунке 6- Рабочая лопатка 3 ступени. Визуально было определено, что на расстоянии 3 мм для входной кромки и для выходной кромки- 2,5 мм начинается модель удовлетворительного качества.

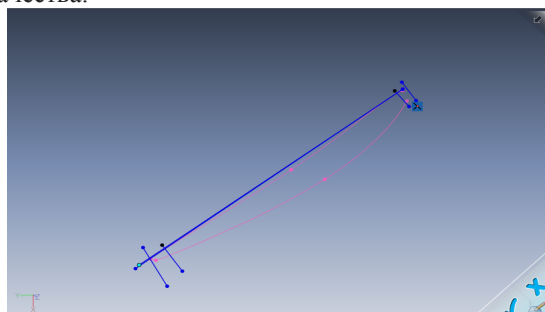


Рис. 5. Цилиндрическое сечение лопатки.

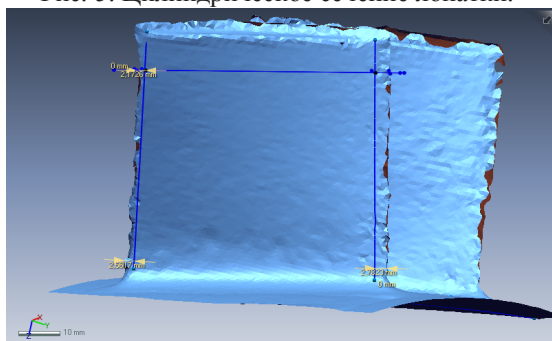


Рис. 6. Рабочая лопатка 3 ступени.

С учетом этих значений была проведена касательная к профилю лопатки. Результаты представлены на рисунке 7- Эскизы профилей лопаток а) и б). На рисунке а) наглядно продемонстрировано, что точка касания находится до той линии после которой начинается неудовлетворительная поверхность, следовательно, качество модели на входной кромке не влияет на измеренный угол. На рисунке б) мы видим, что точка касания расположена за границей хорошего качества полигональной модели. Следовательно, при измерение профильного угла установки это дает диапазон измерений, который равен 0,2 градуса. В целом считаем это приемлемым результатом для проведения данного рода измерений.

## ВЫВОДЫ

1. Проведение входного контроля лопаточного аппарата возможно производить по следующим показателям: угол установки лопатки по корневой полке и по отдельным сечениям, отклонение поверхности пера лопатки от эталонной модели, максимальной толщине профиля.
2. Полученный разброс значений, связанный с качеством полученной полигональной модели составил: для измерения угла по полке 1 градус, по профилю 0,2 градуса.

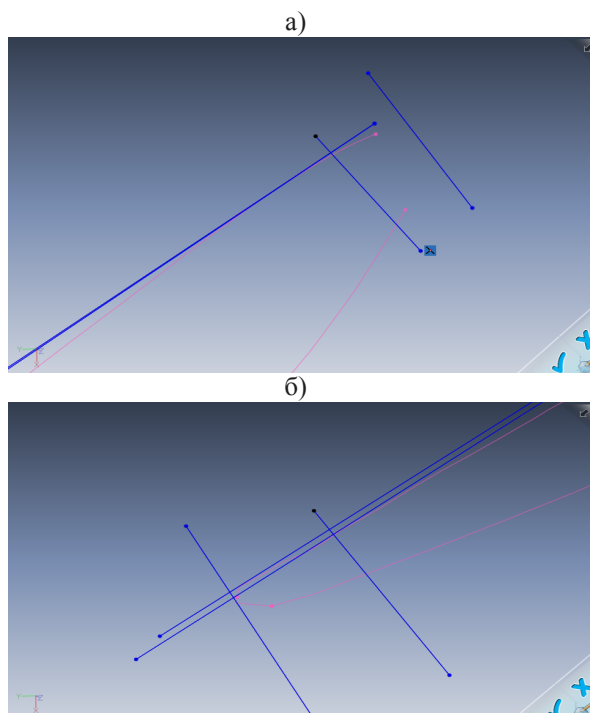


Рис. 7. Эскизы профилей лопаток: а)-Входная кромка, б)-Выходная кромка.

3. Ограничения по сканированию с использованием имеющегося оборудования: минимальная толщина кромки 2мм. Также для проведения инспектирования необходимо учитывать обрабатывающие возможности компьютера и использовать оптимальное разрешение сканера, таким образом, чтобы модель не превышала 500000 точек.
4. Время сканирования одной лопатки на максимальном разрешении 2 часа, на оптимальном разрешении 1 час. Время обработки одной модели с целью получения отклонений поверхности около 10 минут, отклонения по Смакс и углу установки около 20 минут.
5. В целом использование оборудования в данной комплектации наиболее оптимально подходит для выборочного входного контроля лопаточного аппарата. Для определения базовых параметров, таких как максимальная толщина профиля, угол установки профиля. А также для реверсного инжиниринга изделий сложной формы, при отсутствии чертежей от завода-изготовителя, вследствие закрытия завода.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Metrology of freeform shaped parts E. Saviol (2), L. De Chiffre2 (1), R. Schmitt3 1Laboratory of Industrial and Geometrical Metrology, DIMEG - University of Padova, Padova, Italy 2Centre for Geometrical Metrology, IPL – Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark 3Chair of Metrology and Quality Management, RWTH - Aachen University, Aachen, Germany